

УДК 621.793.182

**МОНТАЖ И ЗАПУСК ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОНА НМСА-50
НА УСТАНОВКЕ МВТУ-11-1**Мария Владимировна Макарова⁽¹⁾, Александр Сергеевич Бабурин⁽²⁾*Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽²⁾,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: К.М. Моисеев,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»***Введение**

Одним из способов нанесения тонких пленок является метод ионного распыления в магнетронных системах с жидкой мишенью. Этот метод отличается высокой скоростью осаждения, которая на порядок выше, чем у магнетронов с твердой мишенью, высокой энергетической эффективностью, а также высокими показателями чистоты и адгезии.

В отличие от обычного магнетрона, в жидкофазном в качестве мишени используется металл в тигле, изолированный от системы охлаждения и нагреваемый до температуры плавления под воздействием ионов плазмы. Скорость осаждения в данном случае складывается из двух факторов: испарения и распыления. При высоких температурах процесс испарения становится доминирующим. Энергию, идущую на нагрев мишени, не нужно отводить из катодного узла системой охлаждения, что позволяет значительно увеличить мощность, вкладываемую в разряд.

Для реализации данного метода нанесения на вакуумной установке МВТУ-11-1 в лаборатории кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО «НИИТМ» разработан и изготовлен жидкофазный магнетрон НМСА-50. Целью данной работы является монтаж магнетрона и отработка режимов зажигания разряда и стабильной работы магнетрона.

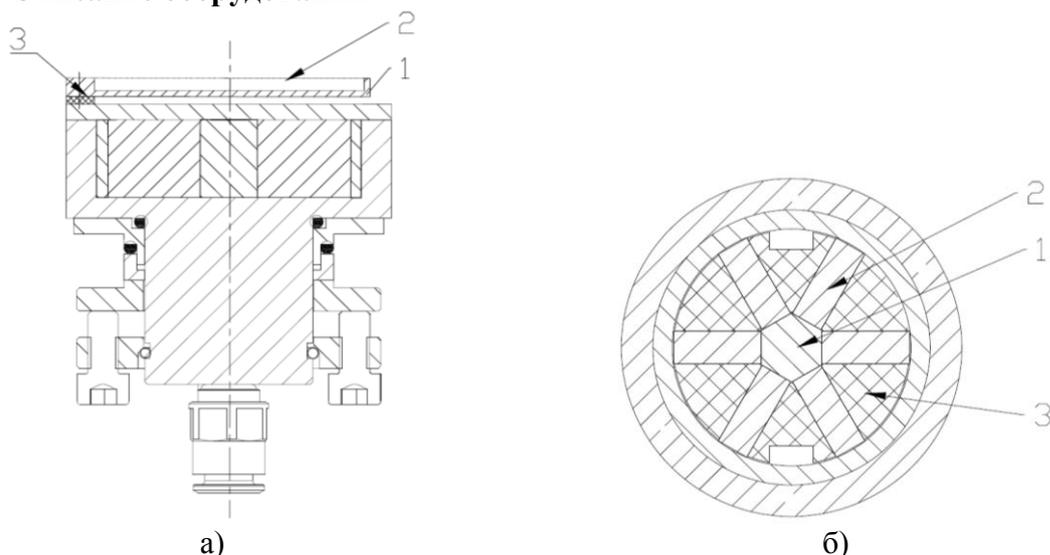
Описание оборудования

Рис. 1. Жидкофазный магнетрон НМСА-50: а) 1 – тигель; 2 – место под мишень; 3 – диэлектрические прокладки; б) 1 – магнитовод; 2 – магниты; 3 – изолятор

В тигель, высотой 3,75 мм, установленный на керамических подкладках, высотой 2 мм, загружается мишень высотой 2 мм.

Тигель изготовлен из тугоплавкого материала – молибдена, поскольку магнетрон с жидкой фазой работает при очень высоких температурах – температурах плавления мишеней. Магнетрон смонтирован на вакуумной установке МВТУ-11-1 (рис. 2).



Рис. 2. Установка МВТУ-11-1: 1 – датчик вакуума широкодиапазонный; 2 – ввод вращения подложкодержателя; 3 – подложкодержатель; 4 – вакуумная камера; 5 – заслонка; 6 – магнетрон; 7 – источник ионов; 8 – электронно-лучевой испаритель; 9 – ввод вращения заслонки; 10 – турбомолекулярный насос; 11 – порт напуска газа

Жидкофазный магнетрон НМСА-50 устанавливается на позиции 6. Для предотвращения осаждения материала мишени при ее распылении на внутреннюю поверхность камеры устанавливается специальный экран.

Проведение экспериментов

Был проведен ряд экспериментов по запуску магнетрона с различной вариацией условий запуска. Зажигание разряда магнетрона проводился при работе по опорному напряжению. Стандартный диапазон напряжений зажигания разряда магнетрона 500-600 В. Для питания магнетрона использовался блок АРЕL-М-5PDC мощностью до 5 кВт. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Так как не получилось найти режим стабильной работы магнетрона при данном давлении с установленным тиглем, было решено повысить давление в камере. Для этого была изготовлена заслонка, для повышения давления (рис.5). Максимально возможное давление с заслонкой 1,2 Па. Данные экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица 1. Данные экспериментов по запуску магнетрона НМСА-50

№	Тигель	Экран	Мишень	Источник ионов	Давление в камере, мбар	Напряжение, В	Результат
1	Установлен. Закреплен винтами через диэлектрические прокладки	-	-	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	Разряд не зажигается
					$2,6 \cdot 10^{-3}$	500	Разряд не зажигается
				Вкл. (Макс. ток)	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500	Одиночная дуга
					$3 \cdot 10^{-3}$	500	Множественные дуги по периметру. Нестабильная работа ИИ.
2	Установлен. Закреплен винтами через диэлектрические прокладки	+	-	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	Разряд не зажигается
					600		
				Вкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	
					600		
				Выкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500	
					600		
Вкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500					
	600						
3	Отсутствует	+	-	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	600	Зажегся. Горел до понижения напряжения до 350 В
4	Установлен. Закреплен винтами, без диэлектрических прокладок.	+	-	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	Разряд не зажигается
					600		
				Вкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	
					600		
				Выкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500	
					600		
Вкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500					
	600						
5	Установлен. Без диэлектрических прокладок.	-	-	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	Разряд не зажигается
					600		
				Вкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	
					600		
				Выкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500	
					600		
Вкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	500					
	600						
6	Отсутствует	+	Толщина 5 мм Cu	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	600	Разряд не зажигается
				Выкл.	$2,6 \cdot 10^{-3}$	600	
				Вкл.			
				Вкл.	$3 \cdot 10^{-3}$	600	
7	Отсутствует	+	Толщина 2 мм Cu	Выкл.	$1,9 \cdot 10^{-3}$	600	Резко зажегся, вспыхнул, погас
					$1,9 \cdot 10^{-3}$	500	Зажегся, искрил
					$1,9 \cdot 10^{-3}$	400	Стабильно горел, при понижении напряжения до 375 погас

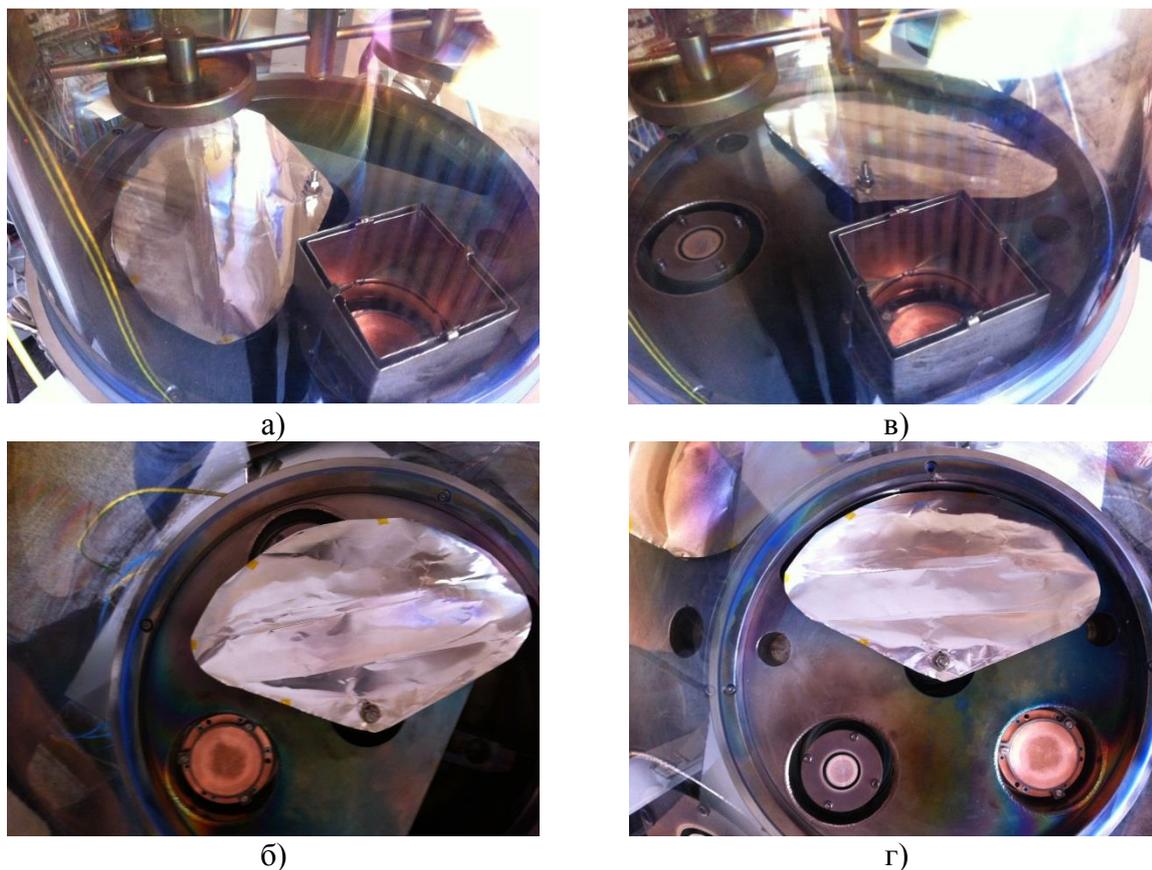


Рис. 5. Камера с установленной заслонкой.
а), б) – заслонка закрыта; в), г) – заслонка открыта

Таблица 2. Результаты экспериментов при новых значениях давления

№	Тигель	Экран	Мишень	Параметра разряда	Результат
1	Установлен. Закреплен винтами через диэлектрические прокладки	+	Cu 2мм	Различные вариации	-
2	Установлен. Закреплен винтами через диэлектрические прокладки	-	Cu 2 мм		-
3	Установлен. Прокладки заменены на кусок поликора толщ. 5мм по центру тигля	-	Cu 2 мм		Зажегся
4	Установлен. Винты и прокладки отсутствуют.	-	Cu 0,5 мм	$Q_{Ar} = 20 \text{ sccm}$ $P = 0.8 \text{ Па}$ $U = 650\text{В}$ И.И. - включен	Зажегся, расплавил мишень. Рис. 6
5	Установлен. Винты и прокладки отсутствуют.	-	Cu 1 мм	$Q_{Ar} = 28 \text{ sccm}$ $P = 1,2 \text{ Па}$ $U = 650\text{В}$ И.И. - включен	Зажегся, но не вышел на режим. Хуже, чем при 0,5 мм. Рис. 6.

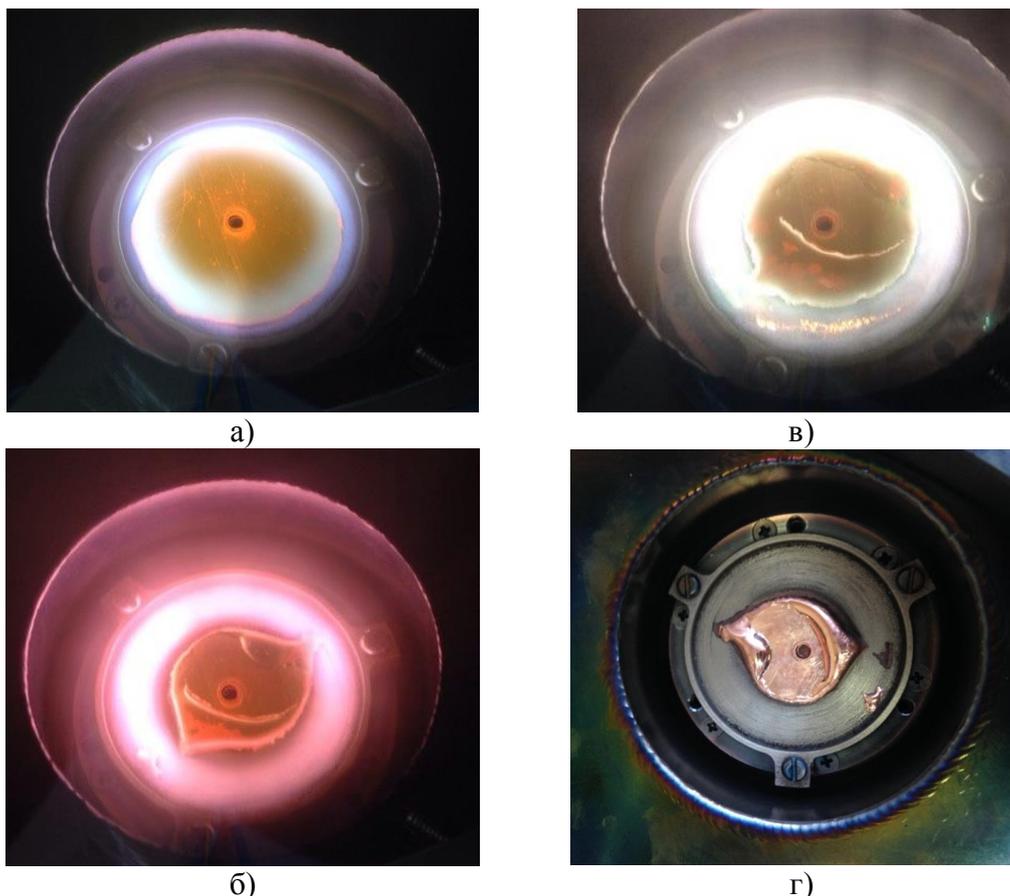


Рис.6. Расплавление мишеней магнетрона: а) и б) – толщиной 0,5 мм, в) и г) – толщиной 1 мм

Результаты и выводы

Магнетрон НМСА-50 был смонтирован на установку МВТУ-11-М и запущен. Магнетрон стабильно горит при толщине мишени 0,5 мм с параметрами процесса $Q_{Ar} = 20 \text{ sccm}$, $P = 0,8 \text{ Па}$, $U = 650 \text{ В}$ при включенном источнике ионов. С помощью жидкофазного магнетрона НМСА-50 было реализовано нанесение тонкой пленки из меди в режиме распыления твердой мишени.

Для того чтобы стабильно работать с толщинами мишени 2 мм и более, а, тем более, расплавить мишень, вероятно, недостаточна величина магнитного поля системы на необходимой высоте.

Причинами этого могут являться:

- Недостаточные парамагнитные свойства материала тигля;
- Неэффективная магнитная система.

Вследствие чего возникает необходимость моделирования имеющейся магнитной системы и выбор альтернативной замены, с их последующим сравнением.

Литература

1. <http://apelvac.com/f/37/92/Manual%20APEL-M-3PDC.pdf>
2. Исследование энергопотребления диодных распылительных систем с твердым и жидким катодом / Войнов Р.Ю., Третьяков Р.С., Талаева Ю.С. — Томский политехнический университет, 2009
3. Магнетронные распылительные системы / А. И. Кузьмичев — М.: Из-во «Аверс», 2008